

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-116419

(43)Date of publication of application : 19.04.2002

(51)Int.Cl. G02F 1/015  
G02F 1/017  
H01S 5/026  
H01S 5/50

(21)Application number : 2000-307174

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 06.10.2000

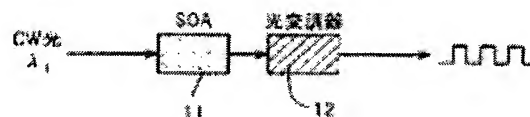
(72)Inventor : ASAKA KOUTA  
SUZAKI YASUMASA  
OGASAWARA MATSUYUKI

## (54) OPTICAL MODULATION DEVICE AND METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical modulation device in which even when the number of wavelength increases, the optical gain of each wavelength does not decrease, the wavelength to be used is not limited by the nonlinear optical effect, the output level can be controlled for each wavelength, and increase in the noise figure or generation of the pattern effect are prevented.

SOLUTION: The device has a semiconductor optical amplifier(SOA) 11 and an optical modulator 12. By disposing the optical modulator at the post stage of the semiconductor optical amplifier 12, CW light at single wavelength  $\lambda_1$  is first optically amplified by the semiconductor optical amplifier 11 and then modulated by the optical modulator 12.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-116419

(P2002-116419A)

(43) 公開日 平成14年4月19日 (2002.4.19)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード* (参考)
G 0 2 F 1/015	5 0 5	G 0 2 F 1/015	5 0 5 2 H 0 7 9
	5 0 3	1/017	5 0 3 5 F 0 7 3
H 0 1 S 5/026		H 0 1 S 5/026	
5/50	6 1 0	5/50	6 1 0

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-307174(P2000-307174)

(22) 出願日 平成12年10月6日 (2000.10.6)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 浅香 航太

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社

(72) 発明者 須崎 泰正

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社

(74) 代理人 100078499

弁理士 光石 俊郎 (外2名)

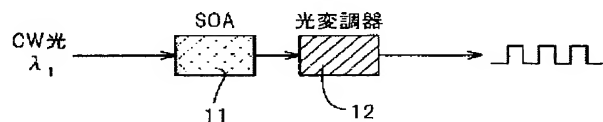
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光変調装置及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 波長数が増加しても各波長の光利得が減少せず、非線形光学効果による使用波長の制限がなく、また波長毎に出力レベルを制御できるとともに、雑音指数の増加やパターン効果を発生することもない光変調装置を提供する。

【解決手段】 半導体光増幅器 (SOA) 11 と光変調器 12 とを有するとともに、光変調器 12 を半導体光増幅器 11 の後段に配置することにより、最初に半導体光増幅器 11 が単一波長  $\lambda_1$  の CW 光を光増幅した後、半導体光変調器 11 で変調を行うようにした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体光増幅器と光変調器とを有して単一波長の連続発振（CW）光を変調する光変調装置において、

半導体光増幅器と、該半導体光増幅器の後段に配置した光変調器とを有することを特徴とする光変調装置。

【請求項 2】 【請求項 1】に記載する光変調装置において、

前記半導体光増幅器と前記光変調器との組を複数有することを特徴とする光変調装置。

【請求項 3】 【請求項 2】に記載する光変調装置において、  
光分波器の複数の出力が前記複数の半導体増幅器に入力されるとともに、前記光変調器の複数の出力が光合波器に入力されるように構成したことを特徴とする光変調装置。

【請求項 4】 【請求項 3】に記載する光変調装置において、  
前記分波器と前記合波器とは同一の合分波器であることを特徴とする光変調装置。

【請求項 5】 【請求項 1】乃至【請求項 4】に記載する何れか一つの光変調装置において、  
モノリシック集積されていることを特徴とする光変調装置。

【請求項 6】 基板上に電界吸収（EA）変調器光吸収層とクラッド層とを形成するとともに、EA部以外の不要部分をエッチングにより除去する工程と、  
半導体光増幅器（SOA）活性層とクラッド層とを選択結晶成長法により形成することでEA変調器光吸収層とSOA活性層とをバットジョイント接合するとともに、

EA部及びSOA部以外の不要部分をエッチングにより除去する工程と、  
アレイ回折格子（AWG）導波路層を含む導波路層とクラッド層とを選択結晶成長法により形成することで当該導波路層とEA変調器光吸収層とSOA活性層とをバットジョイント接合するとともに、導波路部、EA部及びSOA部以外の不要部分をエッチングにより除去する工程と、

EA部及びSOA部にそれぞれが半導体増幅器及びEA光変調器となる複数のメサストライプを形成する工程と、

選択結晶成長法により半絶縁性埋込ヘテロ構造（SI-BH構造）を形成する工程と、  
複数種類の波長の光を多重化し、一本の導波路を介して入力する入力光を分波し、各半導体増幅器で増幅した後、各EA光変調器で変調して合波し、一本の導波路を介して出力光を出力するための光合分波器として機能するアレイ回折格子、このアレイ回折格子の入出力端に隣接する入出力導波路並びに各入出力導波路、半導体増幅器及びEA光変調器間を接続する導波路を形成する工程

とを有することを特徴とする光変調装置の製造方法。

【請求項 7】 【請求項 1】に記載する光変調装置の製造方法において、

EA変調器光吸収層とSOA活性層との間は導波路を介することなくバットジョイント接合で直接接合したことを特徴とする光変調装置の製造方法。

【請求項 8】 【請求項 6】又は【請求項 7】に記載する光変調装置の製造方法において、

アレイ回折格子（AWG）導波路層を含む導波路層とクラッド層とを形成する工程で、当該クラッド層の表面に、エッチングのクラッド層への進行を止めるためのエッチングストップ層を形成する一方、

半絶縁性埋込ヘテロ構造（SI-BH構造）を形成する工程では、EA部及びSOA部のメサストライプ上のみにはマスクをかけ、導波路部に対応するエッチングストップ層の上面にはSI-BH構造を形成する材料を乗り上げ成長させて乗り上げ成長層を形成した後、この乗り上げ成長層をエッチングにより除去する工程を含むことを特徴とする光変調装置の製造方法。

## 20 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光変調装置及びその製造方法に関し、特に光情報通信に適用して有用なものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、光通信は、その大容量及び超高速という特長を活かして多くの情報通信網で用いられている。さらなる大容量化の要求から、今日では波長の異なる光信号を多重化して伝送するWDM（Wavelength Division Multiplexing）伝送が提案され、研究開発が活発に行われている。

【0003】かかる伝送方式では、波長毎に独立な電気信号で光信号を変調する必要がある。従って従来の光伝送網では波長毎に発光素子である半導体レーザダイオード（LD）を配置し、LDを直接変調したり、あるいはLDの後段に位相変調型リチウムナイオベート変調器（LN変調器）や電界吸収型半導体変調器（EA変調器）等の外部変調器を配置して、光信号を伝送するのが一般的である。

40 【0004】上記の方法を用いる場合、長距離伝送により光信号が光ファイバなどの伝搬損失などで減衰するので、エルビウムドープファイバを用いたファイバ型光増幅器（EDFA）により複数の波長の光信号を一括して増幅することが一般的に行われている。

50 【0005】ところで、半導体部品の中には光増幅機能を持った半導体光増幅器（SOA）がある。半導体光増幅器の利点はファイバ型光増幅器に比べて非常に小型であること、アレイ化が容易なこと、他の光半導体部品とモノリシック集積化が可能なこと等が挙げられる。一方、半導体光増幅器は光ファイバとの結合損失が存在す

るため、光信号の伝送特性を劣化させる雑音指数（N F）がファイバ型光増幅器より数 dB 程度大きい。また、飽和光出力がファイバ型光増幅器に比べて小さいため複数の光信号を増幅すると出力飽和により光利得が減少し、波形に歪みが生じて伝送特性が悪化する。

【0006】図 12 に従来技術に係る光変調装置を示す。同図に示すように、複数の半導体レーザダイオード 1 a、1 b、・・・から出た単一波長の CW 出力光は各々の光変調器 2 a、2 b、・・・で電気信号により変調を受ける。この被変調光信号は光合波器 3 により 1 本の光ファイバにまとめられ、その後段でファイバ型光増幅器 4 により一括して増幅される。このような構成にする理由は、ファイバ型光増幅器 4 の飽和光出力が大きく、またファイバ型光増幅器 4 が比較的大型であるためアレイ化が困難で波長毎にファイバ型光増幅器 4 を割り当てるのがコスト的に困難であるからである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上述の如き、従来技術に係る光変調装置では、波長数の増大に伴って総光入力強度が増大するため各波長に対する光利得が減少すること、ファイバ型光増幅器 4 内で非線形光学効果（例えば四光波混合）が生じるため使用できる波長領域が限られること、さらには波長毎に出力レベルを等化しようとする場合に一括増幅のために個々に制御することができない等の問題点が生じる。

【0008】本発明は、上記従来技術の問題点に鑑み、波長数が増加しても各波長の光利得が減少せず、非線形光学効果による使用波長の制限がなく、また波長毎に出力レベルを制御できるとともに、雑音指数の増加やパターン効果を生ずることもない、小型でモノリシック集積可能な光変調装置及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の光変調装置の構成は、次の点の特徴とする。

【0010】1）半導体光増幅器と光変調器とを有して単一波長の連続発振（CW）光を変調する光変調装置において、半導体光増幅器と、該半導体光増幅器の後段に配置した光変調器とを有すること。

【0011】2）上記 1）に記載する光変調装置において、前記半導体光増幅器と前記光変調器との組を複数有すること。

【0012】3）上記 2）に記載する光変調装置において、光分波器の複数の出力が前記複数の半導体増幅器に入力されるとともに、前記光変調器の複数の出力が光合波器に入力されるように構成したこと。

【0013】4）上記 3）に記載する光変調装置において、前記分波器と前記合波器とは同一の合分波器であること。

【0014】5）上記 1）乃至 4）に記載する何れか

一つの光変調装置において、モノリシック集積されていること。

【0015】また、本発明に係る光変調装置の製造方法は、次の点の特徴とする。

1）基板上に電界吸収（E A）変調器光吸収層とクラッド層とを形成するとともに、E A 部以外の不要部分をエッチングにより除去する工程と、半導体光増幅器（S O A）活性層とクラッド層とを選択結晶成長法により形成することで E A 変調器光吸収層と S O A 活性層とをバットジョイント接合するとともに、E A 部及び S O A 部以外の不要部分をエッチングにより除去する工程と、アレイ回折格子（A W G）導波路層を含む導波路層とクラッド層とを選択結晶成長法により形成することで当該導波路層と E A 変調器光吸収層と S O A 活性層とをバットジョイント接合するとともに、導波路部、E A 部及び S O A 部以外の不要部分をエッチングにより除去する工程と、E A 部及び S O A 部にそれぞれが半導体増幅器及び E A 光変調器となる複数のメサストライプを形成する工程と、選択結晶成長法により半絶縁性埋込ヘテロ構造（S I-B H 構造）を形成する工程と、複数種類の波長の光を多重化し、一本の導波路を介して入力する入力光を分波し、各半導体増幅器で増幅した後、各 E A 光変調器で変調して合波し、一本の導波路を介して出力光を出力するための光合分波器として機能するアレイ回折格子、このアレイ回折格子の入出力端に隣接する入出力導波路並びに各入出力導波路、半導体増幅器及び E A 光変調器間を接続する導波路を形成する工程とを有すること。

【0016】2）上記 1）に記載する光変調装置の製造方法において、E A 変調器光吸収層と S O A 活性層との間は導波路を介することなくバットジョイント接合で直接接合したこと。

【0017】3）上記 1）又は 2）に記載する光変調装置の製造方法において、アレイ回折格子（A W G）導波路層を含む導波路層とクラッド層とを形成する工程で、当該クラッド層の表面に、エッチングのクラッド層への進行を止めるためのエッチングストップ層を形成する一方、半導電体の埋込ヘテロ構造（S I-B H 構造）を形成する工程では、E A 部及び S O A 部のメサストライプ上のみにマスクをかけ、導波路部に対応するエッチングストップ層の上には S I-B H 構造を形成する材料を乗り上げ成長させて乗り上げ成長層を形成した後、この乗り上げ成長層をエッチングにより除去する工程を含むこと。

【0018】

【発明の実施の形態】以下本発明の実施の形態を図面に基づき詳細に説明する。

【0019】＜第 1 の実施の形態＞図 1 に示すように、本形態に係る光変調装置は、単一波長  $\lambda_1$  の CW 光を変調するものであり、半導体光増幅器（S O A）11 と光

変調器 12 とを有している。ここで、光変調器 12 は半導体光増幅器 11 の後段に配置してある。

【0020】かかる光変調装置においては、最初に半導体光増幅器 11 が単一波長  $\lambda_1$  の CW 光を光増幅した後、光変調器 12 で変調を行うため、雑音指数の増加やパターン効果を生起することなく光を変調することができる。

【0021】＜第 2 の実施の形態＞図 2 に示すように、本形態に係る光変調装置は、光変調器を半導体からなる電界吸収型 (EA) 光変調器 22 で形成し、この電界吸収型光変調器 22 と半導体光増幅器 11 とをモノリシック集積化したものである。その他の構成は、図 1 に示す第 1 の実施の形態と同様である。

【0022】かかる光変調装置の光変調器は、電界吸収型光変調器 22 で形成したので、図 1 に示す光変調装置の特徴を活かしつつモノリシック集積ができる。この結果、小型の光変調装置が提供できる。

【0023】＜第 3 の実施の形態＞図 3 に示すように、本形態に係る光変調装置は、図 1 に示す半導体光増幅器 11 と光変調器 12 とを複数組並置して単一波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  の CW 光をそれぞれ変調するもので、各組の光変調器 12 の後段に配置した光合波器 33 で、各光変調器 12 の出力信号を合波して送出するようにしたものである。

【0024】かかる光変調装置では、半導体光増幅器 11 と、単一波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  の CW 光を変調する光変調器 12 との対を、複数個並列に配置し、各光変調器 12 からの出力光を光合波器 33 で合波しているため、波長数が増加しても各波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  の光利得が減少せず、非線形光学効果による使用波長の制限もない。また、各波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  毎に半導体光増幅器 11 を配設しているため、波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  毎に出力レベルを制御できる。更に、各半導体光増幅器 11 は、単一波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  の CW 光を光増幅するため、雑音指数の増加やパターン効果を生起することはない。

【0025】＜第 4 の実施の形態＞図 4 に示すように、本形態に係る光変調装置は、図 2 に示す半導体増幅器 11 と電界吸収型光変調器 22 とを複数組並置して単一波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  の CW 光をそれぞれ変調するとともに、各被変調信号を合波して出力するものである。すなわち、図 3 に示す第 3 の実施の形態に係る光変調装置と同一機能を有するものである。ここで、本形態では、光変調器を電界吸収型光変調器 22 で形成するばかりでなく、光合波器を半導体からなるアレイ回折格子 (AWG) 43 で形成することにより、半導体光増幅器 11、電界吸収型光変調器 22 及びアレイ回折格子 43 をモノリシック集積化している。

【0026】かかる光変調装置では、光変調器として半導体からなる電界吸収型光変調器 22 を用い、光合波器

として半導体からなるアレイ回折格子 43 を用いているため、第 3 の実施の形態に係る光変調装置の特徴を活かしつつモノリシック集積化ができ、小型の光変調装置とすることができる。

【0027】＜第 5 の実施の形態＞図 5 に示すように、本形態に係る光変調装置は、図 3 に示す光変調装置に光分波器 54 を追加したものである。すなわち、各半導体光増幅器 11 には、多重化された単一波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  の CW 光が、光分波器 54 を介して分波され、各波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  毎に供給される。

【0028】かかる光変調器では、複数の波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  を持ち各々が一定の光出力を持った CW 光が多重化された状態で供給される。ちなみに、従来技術では簡単のため各々の光変調器に直接入力されていたが、どちらの方法でも本質的な違いは無い。合波された CW 光は光分波器 54 により波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  毎に分波される。その後、波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  毎に割り当てられた半導体光増幅器 11 で増幅され、波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  毎に割り当てられた光変調器 12 で変調されて信号光となる。その後、光合波器 33 により合波されて出力される。

【0029】ここで半導体光増幅器 11 は小型でアレイ化が容易であるため、波長数が増大しても SOA アレイを用いて各波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  に個別の半導体光増幅器 11 を割り当てることができる。さらに、光変調器 12 においても、例えば電界吸収型光変調器 22 を用いることでアレイ化が可能となり各波長に個別の光変調器を割り当てることができる。

【0030】このような構成にすると、半導体光増幅器 11 は、一波長のみを増幅すれば良いので、十分な光利得を得ることができ、非線形光学効果も生じない。また、半導体光増幅器 11 では信号光ではなく、CW 光を増幅するので、光出力飽和が生じるレベルまで増幅しても波形歪みは全く生じない。このため伝送特性は劣化しない。さらに、半導体光増幅器 11 は、個々の波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  のみ増幅しているため、各半導体光増幅器 11 の電流量を制御して利得を調整することにより波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  間での光出力の等化を行うことができる。

【0031】ところで、雑音指数は増幅器の入射端までの挿入損失に直接影響される。このため、このときの損失低減が雑音指数の改善に直接的に寄与する。従来技術では光源の後段に、図 12 に示す光変調器 2 と光合波器 3 を通過した後、ファイバ型光増幅器 4 に入射される。このため、これらの挿入損失に影響されるが、本形態では光分波器 54 のみとなる。このため、雑音指数についても改善が可能であり、伝送特性の劣化は従来技術と比べて同等か、又は小さくなる。

【0032】＜第 6 の実施の形態＞図 6 に示すように、本形態に係る光変調装置は、図 4 に示す光変調装置に、

半導体光増幅器 11、電界吸収型光変調器 22 及びアレイ回折格子 43 とともに集積化したアレイ回折格子 64 である光分波器を追加したものである。すなわち、各半導体光増幅器 11 には、多重化された単一波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  の CW 光が、アレイ回折格子 64 を介して分波され、各波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  毎に供給される。

【0033】かかる光変調装置は、第 5 の実施の形態に係る光変調装置の特徴を活かしつつモノリシック集積化ができ、その分小型の光変調装置とすることができる。

【0034】＜第 7 の実施の形態＞図 7 に示すように、本形態に係る光変調装置は、図 6 に示す光変調装置の光分波器と光合波器とを光合分波器として一つのアレイ回折格子 73 で形成したものである。

【0035】かかる光変調装置は、第 6 の実施の形態に係る光変調装置と同等の機能を有する光変調装置を、より小型にすることができ、波長ずれに対する作製トレランスが緩和され、特性の揃った合分波特性を得ることができる。

#### 【0036】

【実施例】次に、本発明のさらに具体的な実施例を図面にに基づき説明しておく。当該実施例は、図 7 に示す第 7 の実施の形態をさらに具体化したものである。

【0037】図 8 (a) に示すように、 $n$ -InP 基板 80 には、1 つの半導体アレイ回折格子 83、波長数に応じた数をアレイ化した半導体光増幅器アレイ 81 及び電界吸収型光変調器アレイ 82 をモノリシック集積してある。アレイ回折格子 83 は、光合分波器として機能するもので、InGaAsP 導波路層と I-InP クラッド層からなり、ハイメサ構造となっている。また、アレイ回折格子 83 には、その両端部である入出力端でスラ

ブ導波路 84、85 を介して入力光導波路 86、88 及び出力光導波路 87、89 が結合されている。また、半導体光増幅器アレイ 81 と電界吸収型光変調器アレイ 82 との間は光導波路 90 で結合してある。

【0038】半導体光増幅器アレイ 81 の活性層は InGaAsP バルク層であり、電界吸収型光変調器アレイ 82 の光吸収層は、InGaAsP 多重量子井戸構造である。アレイ回折格子 83 の InGaAsP 導波路層を含む他の入力光導波路 86、88、出力光導波路 87、89 及び光導波路 90 の導波路層と、半導体光増幅器アレイ 81 の InGaAsP 活性層と、電界吸収型光変調器アレイ 82 の InGaAsP 多重量子井戸構造光吸収層とは、それぞれバットジョイント接合で形成されている。

【0039】かかる本実施例の光変調装置に CW 光が入射すると、アレイ回折格子 83 により  $n$  波に分波される。分波された CW 光は  $n$  チャンネルの半導体光増幅器アレイ 81 によって各波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  毎に増幅され、さらに  $n$  チャンネルの電界吸収型光変調器アレイ 82 によって各波長  $\lambda_1$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  毎に変調されて

信号光となる。その後、 $n$  波の信号光は再びアレイ回折格子 83 に入射し、合波されて当該光変調装置から出射する。

【0040】なお、上記実施例に係る光変調装置においては、チップサイズの小型化が図れることと、波長ずれに対するトレランスが緩和されるため、一つのアレイ回折格子 83 を合分波器として用いている。この結果、半導体光増幅器アレイ 81、電界吸収型光変調器アレイ 82 を集積する入出力導波路は、交差することになる。この交差による損失は、一回交差する毎に  $-0.1$  dB 程度であるので、特性に大きく影響を与えることはなく、半導体光増幅器アレイ 81 による損失補償を行える範囲内の値である。また、電界吸収型光変調器アレイ 82 と半導体光増幅器アレイ 81 を集積するため、半導体光増幅器アレイ 81 の発熱が電界吸収型光変調器アレイ 82 に影響を与え、特性が劣化することが考えられる。よって、本実施例の光変調装置では、半導体光増幅器アレイ 81 と電界吸収型光変調器アレイ 82 との間に光導波路 90 を介在させることで距離を十分に離し、半導体光増幅器アレイ 81 の発熱の影響を受けない配置としている。

【0041】図 8 (a) に示す出力光導波路 89 は、図 8 (b) に示すように、 $n$ -InP 基板 80 において入力光導波路 86 と同じ側 (図では左側) に形成しても良い。この場合には、出力光導波路 89 の長さを短くすることができるので、この部分での伝送損失の低減を図ることができる。また、図 8 (a) に示す実施例に比べ、 $n$ -InP 基板 80 の端部 (図中右端のエッジ部) を電界吸収型光変調器アレイ 82 に、より接近させることができる。出力光導波路 89 の出力端を確保するためのスペースが不用になるからである。したがって、その分  $n$ -InP 基板 80 の小形化を図り得る。

【0042】図 8 に示す両実施例においては、半導体光増幅器アレイ 81 と電界吸収型光変調器アレイ 82 との間を光導波路 90 で接続したが、必ずしもこのように構成する必要はない。半導体光増幅器アレイ 81 の光変調器光吸収層と電界吸収型光変調器アレイ 82 の SOA 活性層との間をバットジョイント接合により接続することにより光導波路 90 を省略することができる。

【0043】図 9 は図 8 に示す実施例に係る光変調装置の製造方法を示す説明図である。同図に基づき当該実施例に係る光変調装置の作製方法を説明する。本実施例に係る光変調装置は、 $n$ -InP 基板 90 上に有機金属気相成長法 (MOVPE) 等を用いて作製される。さらに詳言すると、次の通りである。

1)  $n$ -InP 基板 91 上に GaInAsP 多重量子井戸 (MQW) EA 変調器光吸収層 92、 $p$ -InP クラッド層 93 を MOVPE 法により形成する。この状態を図 9 (a) に示す。

2) SiO<sub>2</sub> 膜 94 をプラズマ CVD 法により形成する

とともに、フォトリソグラフィ法と $\text{CF}_4/\text{H}_2-\text{RIE}$  ( $\text{Riactive Ion Etching}$ ; 反応性エッチング) を用いて電界吸収型光変調器を形成する部分以外の $\text{SiO}_2$  膜94を除去する。この状態を図9 (b) に示す。

3)  $\text{SiO}_2$  膜94をマスクとしてEA変調器光吸収層92及び $\text{p-InP}$ クラッド層93のEA部以外の不要部分をエッチングにより除去する。この状態を図9 (c) に示す。

4) 再度 $\text{SiO}_2$  膜94をマスクとして選択MOVPE法により、 $\text{GaInAsP}$ バルクSOA活性層95及び $\text{p-InP}$ クラッド層96を形成する。この状態を図9 (d) に示す。

5)  $\text{SiO}_2$  膜94を除去した後、再度 $\text{SiO}_2$  膜97をプラズマCVD法により形成するとともに、フォトリソグラフィ法と $\text{CF}_4/\text{H}_2-\text{RIE}$ を用いてEA部及びSOA部以外の $\text{SiO}_2$  膜97を除去する。この状態を図9 (e) に示す。

6) SOA部以外の $\text{GaInAsP}$ バルクSOA活性層95及び $\text{p-InP}$ クラッド層96をエッチングにより除去する。この状態を図9 (f) に示す。

7) 同一のマスクを用いて選択MOVPE成長により $\text{GaInAsP}$  AWG導波路層98、 $\text{i-InP}$ クラッド層99を形成する。この状態を図9 (g) に示す。

8) 次に、図示はしていないが、マスクを除去した後、 $\text{SiO}_2$  膜をプラズマCVD法により形成し、フォトリソグラフィ法と $\text{CF}_4/\text{H}_2-\text{RIE}$ を用いてEA部およびSOA部のSI-BH領域の $\text{SiO}_2$  膜を除去し、 $\text{CH}_4/\text{H}_2-\text{RIE}$ によりそれぞれが半導体増幅器(SOA)及びEA光変調器となる複数のメサストライプを形成する。

9) フォトリソグラフィ法と $\text{CF}_4/\text{H}_2-\text{RIE}$ を用いてEA部メサストライプ100及びSOA部メサストライプ101以外の $\text{SiO}_2$  膜102を除去する。この状態を図9 (h) に示す。

10)  $\text{SiO}_2$  膜102をマスクとして $\text{Fe-InP}$ によるSI-BH構造103を選択MOVPE法により形成した後、マスクを除去する。この状態を図9 (i) に示す。

11) EA部およびSOA部の表面に $\text{AuZnNi-p}$ 型電極を形成(図示せず)した後、 $\text{SiO}_2$  膜104を形成し、フォトリソグラフィ法と $\text{CF}_4/\text{H}_2-\text{RIE}$ を用いて導波路部以外の $\text{SiO}_2$  膜104を除去する。この状態を図9 (j) に示す。

12)  $\text{SiO}_2$  膜104をマスクとして $\text{Br}_2-\text{RIE}$ によりAWG105及びEA、SOAと接続する導波路106等の全ての導波路を形成し、その後 $\text{SiO}_2$  膜を除去する。この状態を図9 (k) に示す。

13) 最後に、裏面を数百 $\mu\text{m}$ 厚になるように研磨した後、 $\text{AuGeNi-n}$ 電極を形成し、劈開した後、素子端

面にAR膜を形成する(図示せず。)

【0044】上述の如き製造方法において、AWG導波路部まで $\text{SiO}_2$  膜によりマスクを行うと、マスク面積が大きすぎて $\text{Fe-InP}$  SI-BH構造部に異常成長を引き起こしてしまう。そのためマスクすることができないのはSOA部、EA変調器部のメサストライプ上に限られる。

【0045】このためAWG導波路層部は、「埋め込み構造を形成する材料」が乗り上げ成長せざるを得ない。 $\text{pn}$ 埋め込み構造の場合、AWG導波路層に拡散したドーパントが光を吸収し、伝搬損失が生じてしまうが、 $\text{Fe-InP}$ による埋め込みを行うことでドーパントによる光吸収損失の生じないAWG導波路層部を形成することができる。

【0046】一方、 $\text{Fe-InP}$ 乗り上げ成長層をドライエッチングによって除去する場合、その制御性が問題となり $\text{Fe-InP}$ 乗り上げ成長層とAWG導波路層の境界面でエッチングを停止することは困難で、エッチング時間が長すぎるとAWG導波路層にダメージを与えてしまう問題がある。

【0047】そこで、本発明ではAWG導波路層の上に $\text{GaInAsP}$ エッチストップ層を形成し、ウェットエッチングを行っている。ウェットエッチングにより $\text{Fe-InP}$ 乗り上げ成長層を除去した後、 $\text{GaInAsP}$ エッチストップ層により自動的にエッチングを停止することができるため、AWG導波路層にダメージを与えることなく $\text{Fe-InP}$ 乗り上げ成長層を除去することが可能となる。

【0048】図9には、具体的には示していないが、本願発明の製造方法には、上述のような特徴乃至工夫がある。この点を中心に、図10に基づき上記製造方法をさらに詳細に説明する。同図に示す工程は、図9 (g)乃至図9 (j)に対応する工程の詳細である。ただ、図面の錯綜を避けるため、SOA部、EA変調部及びその近傍部分のみを抽出して示すとともに、メサストライプ、すなわちSOA及びEA変調器は1個のみ(実際は複数個)の場合を示している。

【0049】1) 選択MOVPE成長により $\text{GaInAsP}$  AWG導波路層98、 $\text{i-InP}$ クラッド層99、 $\text{GaInAsP}$ エッチストップ層107を形成する。この状態を図10 (a) に示す。この状態が図9 (g) の状態に対応している。

2)  $\text{SiO}_2$  膜97を除去する。この状態を図10 (b) に示す。

3) 次に、 $\text{SiO}_2$  膜108をプラズマCVD法により形成するとともに、フォトリソグラフィ法と $\text{CF}_4/\text{H}_2-\text{RIE}$ を用いてEA部およびSOA部のSI-BH領域の $\text{SiO}_2$  膜108を除去する。この状態を図10 (c) に示す。

4)  $\text{CH}_4/\text{H}_2-\text{RIE}$ によりメサストライプを形成



する。この状態を図 10 (d) に示す。

5) フォトリソグラフィ法と  $\text{CF}_4/\text{H}_2$  -RIE を用いて EA 部および SOA 部のメサストライプ以外の  $\text{SiO}_2$  膜 108 を除去する。この状態を図 10 (e) に示す。

6)  $\text{SiO}_2$  膜 108 をマスクとして  $\text{Fe-InP}$  による SI-BH 構造 109 を選択 MOVPE 法により形成する。このとき AWG 導波路層部には「埋め込み構造を形成する材料」が乗り上げ成長した  $\text{Fe-InP}$  乗り上げ成長層 110 を形成する。この状態を図 10 (f) に示す。

7)  $\text{SiO}_2$  膜 108 を除去する。この状態を図 10 (g) に示す。

8)  $\text{SiO}_2$  膜 111 をプラズマ CVD 法により形成し、フォトリソグラフィ法と  $\text{CF}_4/\text{H}_2$  -RIE を用いて  $\text{Fe-InP}$  乗り上げ成長層 110 の領域の  $\text{SiO}_2$  膜を除去する。この状態を図 10 (h) に示す。

9) 次に、ウエットエッチングにより、AWG 導波路層部の上に形成された  $\text{Fe-InP}$  乗り上げ成長層 110 を除去する。このときのウエットエッチングは、エッチングストップ層 107 の部分で規制されてそれ以上進行することはない。この状態を図 11 (a) に示す。

10)  $\text{SiO}_2$  膜 111 を除去する。この状態を図 11 (b) に示す。この状態が図 9 (i) の状態に対応している。

11) EA 部及び SOA 部の表面に  $\text{AuZnNi}$  p 型電極を形成 (図示せず。) した後、 $\text{SiO}_2$  膜 112 をプラズマ CVD 法により形成し、フォトリソグラフィ法と  $\text{CF}_4/\text{H}_2$  -RIE を用いて EA 変調器部のポリイミド埋め込みを行う領域の  $\text{SiO}_2$  膜 112 を除去する。この状態を図 11 (c) に示す。

12)  $\text{SiO}_2$  膜 112 をマスクとして  $\text{Br}_2$  -RIE により EA 変調器部のメサストライプを形成する。この状態を図 11 (d) に示す。

13) EA 変調器部にポリイミド埋め込み構造 113 を形成する。この状態を図 11 (e) に示す。

14)  $\text{SiO}_2$  膜 114 をプラズマ CVD 法により形成し、フォトリソグラフィ法と  $\text{CF}_4/\text{H}_2$  -RIE を用いて SOA 部と EA 変調器部と AWG ハイメサ導波路部以外の  $\text{SiO}_2$  膜 114 を除去する。この状態を図 11 (f) に示す。この状態が図 9 (j) の状態に対応している。

【0050】なお、EA 変調器光吸収層と SOA 活性層とをバットジョイント接合により接合する場合には、両者の間に導波路を形成する必要はない。また、図 9 及び図 10 に示す製造方法は、GaInAsP 系での製造方法であるが、Al を含む III-V 族系等、SOA や EA 変調器などの活性層が形成できる材料であれば特別な限定はない。また、光変調器は EA 変調器がアレイ化等の点で望ましいが、LN 変調器などでも良い。AWG はシ

リカ系のガラス導波路などで作製しても良い。

#### 【0051】

【発明の効果】以上実施の形態とともに具体的に説明したように、〔請求項 1〕に記載する発明は、半導体光増幅器と光変調器とを有して単一波長の連続発振 (CW) 光を変調する光変調装置において、半導体光増幅器と、該半導体光増幅器の後段に配置した光変調器とを有するので、最初に半導体光増幅器が単一波長の CW 光を光増幅した後、光変調器で変調を行う。このため、雑音指数の増加やパターン効果を生起することなく光を変調することができる。

【0052】〔請求項 2〕に記載する発明は、〔請求項 1〕に記載する光変調装置において、前記半導体光増幅器と前記光変調器との組を複数有するので、波長数が増加しても各波長の光利得が減少せず、非線形光学効果による使用波長の制限もない。また、各波長毎に半導体光増幅器を配設しているため、波長毎に出力レベルを制御できる。更に、各半導体光増幅器は、複数種類の単一波長の CW 光を光増幅するため、雑音指数の増加やパターン効果を生起することはない。

【0053】〔請求項 3〕に記載する発明は、〔請求項 2〕に記載する光変調装置において、光分波器の複数の出力が前記複数の半導体増幅器に入力されるとともに、前記光変調器の複数の出力が光合波器に入力されるようにしたので、〔請求項 2〕に記載する発明の効果に加え、雑音指数についても改善が可能であり、伝送特性の劣化は従来技術と比べて同等か、又は小さくすることができる。

【0054】〔請求項 4〕に記載する発明は、〔請求項 3〕に記載する光変調装置において、前記分波器と前記合波器とは同一の合分波器であるので、より小型化を達成した装置で〔請求項 3〕に記載する発明の効果を得ることができる。

【0055】〔請求項 5〕に記載する発明は、〔請求項 1〕乃至〔請求項 4〕に記載する何れか一つの光変調装置において、モノリシック集積されているので、最も小型化した装置で各〔請求項 1〕乃至〔請求項 4〕に記載する発明の効果を得ることができる。

【0056】〔請求項 6〕及び〔請求項 7〕に記載する発明によれば、複数の半導体光増幅器、各半導体光増幅器の後段に配置された電界吸収型光変調器、光合分波器及び導波路等をモノリシック集積回路として良好に製造することができる。

【0057】〔請求項 8〕に記載する発明は、〔請求項 6〕又は〔請求項 7〕に記載する光変調装置の製造方法において、アレイ回折格子 (AWG) 導波路層を含む導波路層とクラッド層とを形成する工程で、当該クラッド層の表面に、エッチングのクラッド層への進行を止めるためのエッチングストップ層を形成する一方、半絶縁性埋込ヘテロ構造 (SI-BH 構造) を形成する工程で



13

は、EA部及びSOA部のメサストライプ上のみにマスクをかけ、導波路部に対応するエッチングストップ層の上面にはS I-BH構造を形成する材料を乗上げ成長させて乗上げ成長層を形成した後、この乗上げ成長層をエッチングにより除去するようにしたので、S I-BH構造部に異常成長生起することなく埋め込み構造を形成することができ、またこれに伴って形成される乗上げ成長層はエッチングストップ層の存在により導波路部のクラッドを損傷することなくエッチングにより良好に除去し得る。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る光変調装置を示すブロック線図である。

【図2】本発明の第2の実施の形態に係る光変調装置を示すブロック線図である。

【図3】本発明の第3の実施の形態に係る光変調装置を示すブロック線図である。

【図4】本発明の第4の実施の形態に係る光変調装置を示すブロック線図である。

【図5】本発明の第5の実施の形態に係る光変調装置を示すブロック線図である。

【図6】本発明の第6の実施の形態に係る光変調装置を示すブロック線図である。

【図7】本発明の第7の実施の形態に係る光変調装置を示すブロック線図である。

【図8】図7に示す第7の実施の形態をさらに具体化し

14

た第1の実施例(a)及び第2の実施例(b)を示す構造図である。

【図9】本発明の実施の形態に係る光変調装置の製造方法を示す工程図である。

【図10】図9に示す工程の一部のさらに詳細な工程を示す第1の工程図である。

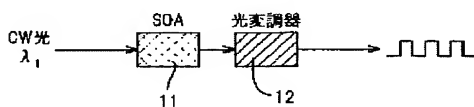
【図11】図9に示す工程の一部のさらに詳細な工程を示す第2の工程図である。

【図12】従来技術に係る光変調装置を示すブロック線図である。

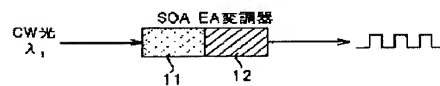
#### 【符号の説明】

11	半導体光増幅器
12	光変調器
22	電界吸収型光変調器
33	光合波器
43	アレイ回折格子
54	光分波器
64	アレイ回折格子
73	アレイ回折格子
81	半導体光増幅器アレイ
82	電界吸収型光変調器アレイ
83	半導体アレイ回折格子
84、85	スラブ導波路
86、88	入力光導波路
87、89	出力光導波路
90	光導波路

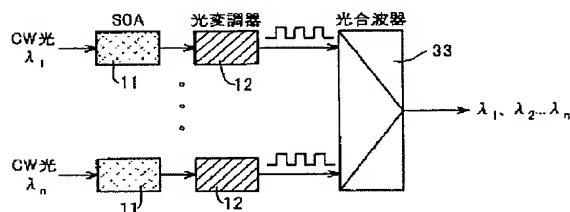
【図1】



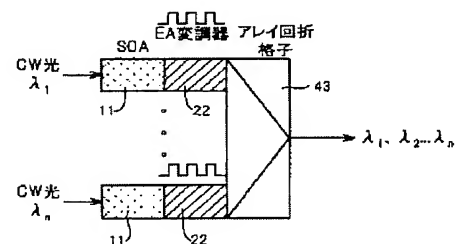
【図2】



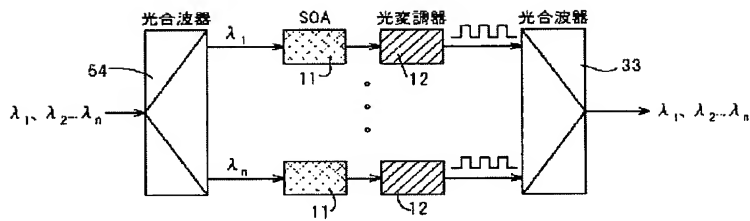
【図3】



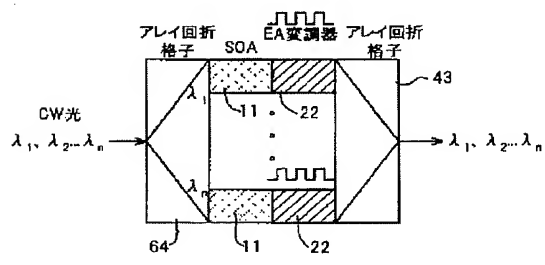
【図4】



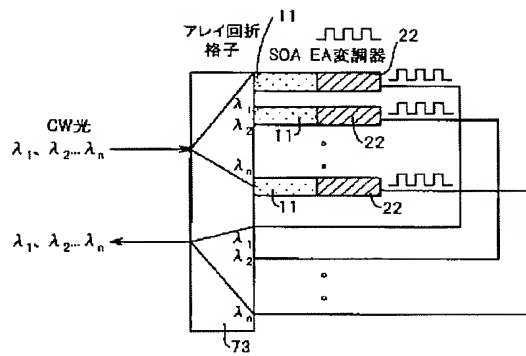
【図5】



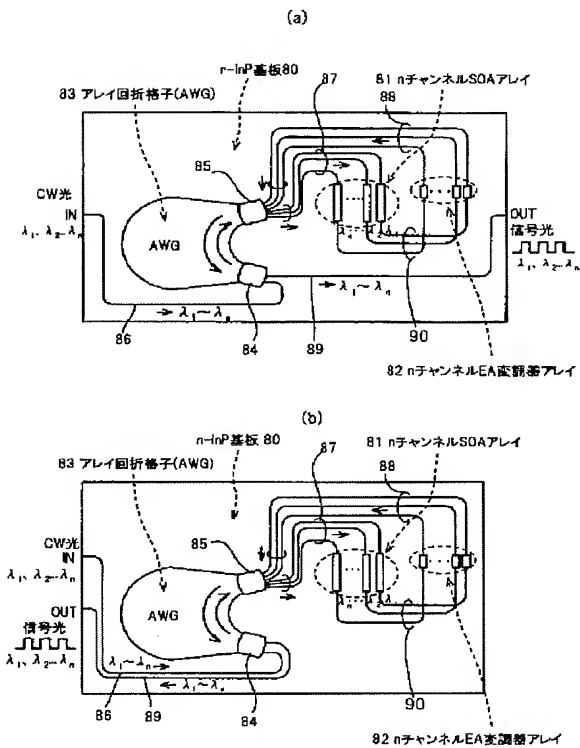
【図6】



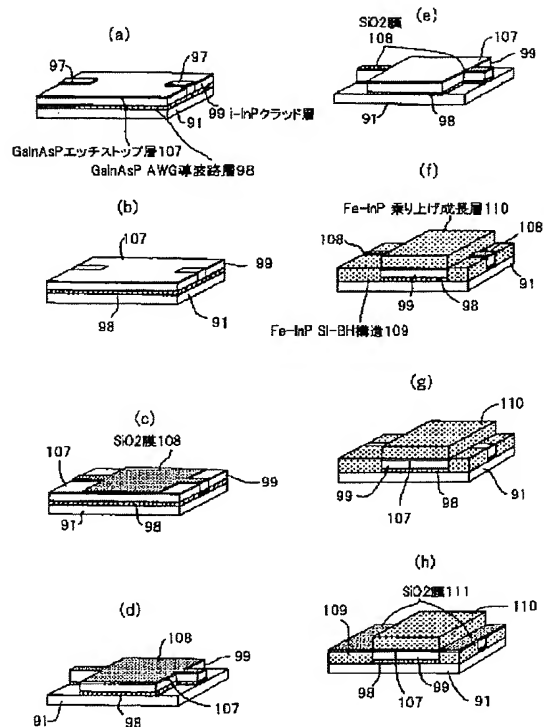
【図7】



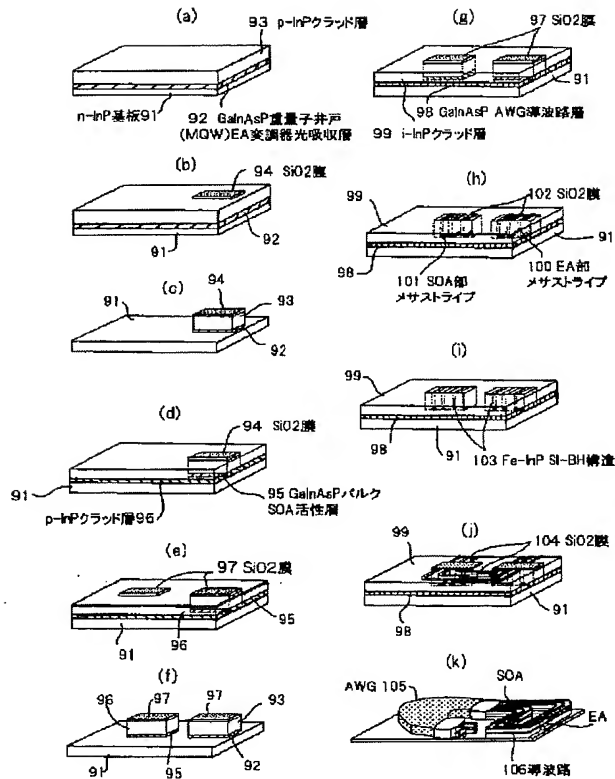
【図8】



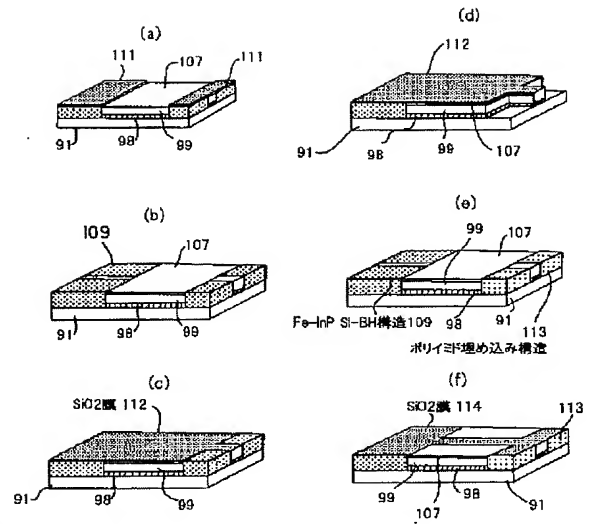
【図10】



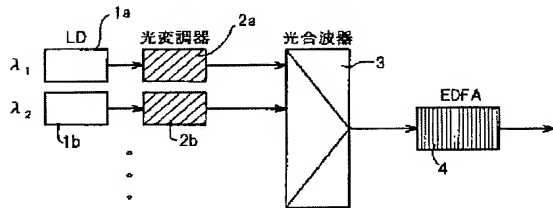
【図9】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 小笠原 松幸  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社

Fターム(参考) 2H079 AA02 AA13 CA04 DA16 EA07  
HA11 JA07 KA20  
5F073 AA53 AB01 AB21 BA01 CA12  
CB02 DA05 DA25 EA27